

Enterprise Architektur-Muster

JULIAN BRUDER*, ABDELLAH FILALI*, and LUCA FRANKE*, Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig (HTWK Leipzig), Deutschland

Blah ...

1 EINLEITUNG

Blah ...

2 GRUNDLAGEN VON ENTERPRISE-ARCHITEKTUREN

Blah ...

3 KLASSISCHE ENTERPRISE-ARCHITEKTUREN

3.1 Monolith

Der Begriff *Monolith* stammt aus dem Altgriechischen und bedeutet *einheitlicher Stein*. Die monolithische Architektur beschreibt ein Softwarearchitektur-Pattern, die die gesamte Funktionalität in einer einzigen Anwendung bündelt, wobei ein einziger Prozess für die Ausführung der Anwendung zuständig ist [Chen et al. 2017, 1].

Anwendungen dieser Architektur bestehen aus eng gekoppelte Komponenten, die von einander abhängig sind, sodass sie weder eigenständig laufen noch in manchen Fällen nicht isoliert kompiliert werden können. [Salaheddin and Ahmed 2022]



Abb. 1. Monolith Architektur

Diese Architektur weist für kleinere Anwendungen gewisse Vorteile auf, wie eine einfache testbarkeit, Logging, Deployment, sowie Debugging. Zudem eine Datenbanksynchronisation ist nicht notwendig, da die gesamte Daten in einer Datenbank persistiert werden. [?, 2]

Betrachten wir das E-Commerce-Beispiel. Dafür definieren wir drei Klassen:

- OrderService: Klasse, die die Bestellungen verwaltet
- PaymentService: Klasse, die die Zahlungen abwickelt
- ShipmentService: Klasse, die die Lieferungen initiiert

Die Kommunikation zwischen den Klassen erfolgt durch Methodenaufrufe. Dabei ist die Klasse OrderService die Hauptklasse, die die anderen Klassen verwendet, um den Bestellvorgang durchzuführen. Vorteilhaft hier ist, dass hier die Kommunikation zwischen den Komponenten einfach ist. Durch die Verwendung von Methodenaufrufen wird die Komplexität reduziert, die mit Inter-system-kommunikationen verbunden ist.

Jedoch, wenn die Code-Basis wächst und komplex wird, treten einige Nachteile auf. Durch Änderungen in einer Komponente können

* Alle Studierenden trugen zu gleichen Teilen zu dieser Arbeit bei.

Diese Arbeit wurde im Rahmen des Mastermoduls „Software Engineering“ (Dozent: Prof. Dr. Andreas Both) an der HTWK Leipzig im Wintersemester 2024/2025 erstellt. Diese Arbeit ist unter der Lizenz ??? freigegeben.

unerwartete kaskadierende Fehler auslösen, was die Weiterentwicklung in kleinen autonomen Teams erschwert und verlangsamt.

Außerdem durch die Verwendung von direkte Methodenaufrufe, entsteht eine enge Kopplung zwischen den Komponenten. Änderungen in der Implementierung oder Signatur einer Methode können zu kaskadierenden Fehlern führen.

Weiterhin ist die Wiederverwendung von Funktionalitäten nicht möglich, da die Komponenten eng gekoppelt sind. Das führt zu Duplikation von Code, was die Änderungen teurer macht, da die Änderungen in mehreren Stellen durchgeführt werden müssen.

Die dadurch erhöhte Komplexität und die schwierige Wartung führen zu längere Iterationen. Da das Deployment erfolgt nur als Ganzes und die Iterationen länger dauern, kommt es zu seltenen Auslieferungen von neuen Features. Ferner ist Horizontale Skalierung auch nicht möglich, da die Anwendung nur als Ganzes skaliert werden kann. Insgesamt ist eine gute Einstiegslösung, allerdings nicht für größere Anwendungen geeignet, da die Agilität davon stark betroffen wird.

3.2 Modular Monolith

Das Hauptproblem der vorherigen Architektur ist die eng gekoppelte Natur der Architektur, die eine gewisse Komplexität und Unflexibilität mit sich bringt. Modulare Monolithen sind eine Evolution der Monolithic Architektur, die die Vorteile der Monolithic Architecture erben und gleichzeitig die Nachteile der enge Kopplung verringern.

In diese Architektur wird die Code-Basis in mehrere Module geteilt, die jeweils eine Teil-Funktionalität der Anwendung implementieren. Die Kommunikation zwischen den Module erfolgt durch klar definierte Interfaces, wobei die Wiederverwendbarkeit und Austauschbarkeit der Module ermöglicht wird. [Su and Li 2024, 11]

Die Trennung in Modulen reduziert zudem die Komplexität und fördert eine bessere Organization der Code-Basis, was zu einer besseren Wartbarkeit führt. [Barde 2023, 2]



Abb. 2. Modular Monolith Architektur

Betrachten wir erneut das E-Commerce-Beispiel. Diesmal wird die Anwendung in drei Hauptmodule aufgeteilt:

- OrderModule: Verantwortlich für die Verwaltung der Bestellungen
- PaymentModule: Verantwortlich für die Abwicklung der Zahlungen
- ShipmentModule: Verantwortlich für die Initiierung der Lieferungen

Abhängigkeiten zwischen den Modulen werden durch die Verwendung von Interfaces reduziert, indem die Module nur die

Schnittstellen kennen und nicht die Implementierung. Zum Beispiel Änderungen an der Implementierung einer Komponente von `PaymentModule` müssen nur in der Implementierung des Interfaces durchgeführt werden, ohne dass die anderen abhängigen Module davon betroffen werden. Die Modularisierung ermöglicht zusätzlich eine verbesserte Entwicklung in semi-autonomen Teams im Vergleich zu den traditionellen Monolithen. Problematisch ist jedoch, dass die Anwendung nur als Ganzes deployt werden kann, was die Iterationen verlangsamt. Außerdem ist weiterhin keine horizontale Skalierung möglich und die Funktionalitäten können nicht wiederverwendet werden, da diese immer noch Teil einer einzigen Anwendung und eng miteinander gekoppelt sind.

3.3 Layered

Das Layered Architektur-Pattern, auch bekannt als n-Tier-Architektur-Pattern, beschreibt eine Architektur, die die Anwendung in Schichten aufteilt.

Ein wichtiges Prinzip der Layered Architecture ist der die Trennung der Zuständigkeiten (Englisch *Separation of concerns*). Komponenten mit unterschiedlichen Aufgaben sollten auf verschiedene Schichten verteilt werden, sodass die Komponenten einer Schicht jeweils für eine klar definierte und gemeinsame Aufgabe zuständig sind. [Tu 2023, 34]

Obwohl diese Architektur keine feste Anzahl an Schichten vorschreibt, bestehen die Layered Architectures meistens aus 3 Schichten (Siehe Abb. 3) [Tu 2023, 3]:

- Presentations Layer: Verantwortlich für die Interaktion mit dem Benutzer
- Business Layer: Zuständig für die Verarbeitung von Geschäftslogik
- Data Layer: Verantwortlich für die Interaktion mit der Datenbank

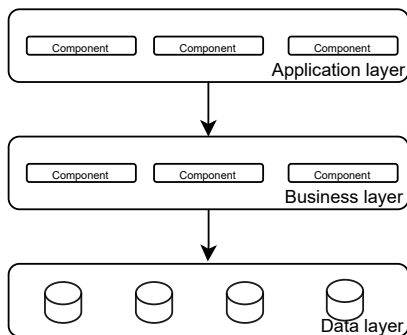


Abb. 3. Layered Architektur

Ein weiteres Prinzip der Layered Architecture ist der Isolation von Schichten (Englisch *layers of isolation*). Dies besagt, dass die Kommunikation zwischen Schichten ausschließlich über definierte Verträge erfolgt. Dadurch sind Änderungen in einer Schicht isoliert auf die Schicht selbst und höchstens auf eine andere abhängige Schicht beschränkt. [Richards 2015, 3 - 4]

Ein weiteres relevantes Konzept ist die Unterscheidung zwischen offenen und geschlossenen Schichten. Dieses Konzept beschreibt

die Organisation der Kommunikation zwischen den Schichten. Standardmäßig sind die Schichten auf Closed gesetzt. Dies impliziert, dass Anfragen einer Schicht lediglich an die direkt darunterliegende Schicht weitergeleitet werden, bevor sie die übernächste Schicht erreichen. [Richards 2015][S. 3]. (Siehe Abb. 4)

Die Umsetzung von geschlossenen Schichten begünstigen die Isolation von Schichten und reduziert somit die Abhängigkeiten zwischen den Schichten, da Schichten weisen somit nur Abhängigkeiten zu den direkt darunterliegenden Schichten auf.

Im Gegensatz dazu ermöglichen offene Schichten den höheren Schichten den Zugriff auf Funktionalitäten beliebiger darunterliegender Schichten, ohne dass die Anfragen die dazwischenliegenden offenen Schichten durchlaufen müssen. (Siehe Abb. 4). [Richards 2015, 4]

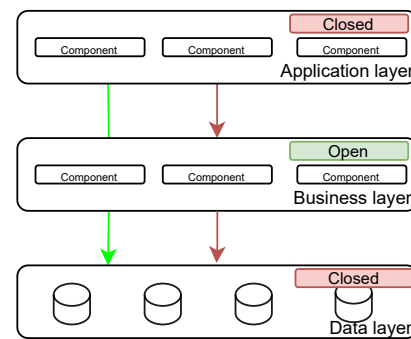


Abb. 4. Open/Close Layering

Die Nutzung von offenen Schichten hat einerseits den Vorteil, dass den Aufwand für die Logik der Weiterleitung von Anfragen reduziert wird. Andererseits wird jedoch das Prinzip der Isolation von Schichten verletzt. Folglich Änderungen in einer Schicht können sich auf mehrere Schichten auswirken [Richards 2015, 7 - 8]

Werden die Trennung der Zuständigkeiten, die Isolation von Schichten und geschlossenen Schichten umgesetzt, so können die Vorteile der Layered Architecture vollständig ausgeschöpft werden. Darüber hinaus Änderungen wirken sich minimal auf anderen Schichten aus und die Wiederverwendung von Schichten in anderen Projekten wird erleichtert.

Durch die klare Trennung der Schichten wird die Entwicklung in kleine autonome Teams ermöglicht, da Entwickler nur die Verträge zwischen den Schichten kennen müssen und nicht die interne Implementierung. Außerdem sind Änderungen möglich, weil die Schichten isoliert sind und die Änderungen in einer Schicht sich nicht auf andere Schichten auswirken, was die Auslieferung in kleinen Iteration ermöglicht.

Aufgrund der losen Kopplung der Schichten ist es zudem möglich, neue Funktionalitäten hinzuzufügen durch die Einführung neuer Schichten ohne dabei umfangreiche Anpassungen am gesamten System vornehmen zu müssen [Tu 2023, 35].

Die Schichten können zudem sowohl ausgetauscht als auch wiederverwendet werden, sodass die Auslieferung in kurze Iterationen ermöglicht wird.

Werden aber die Prinzipien nicht eingehalten, es kann zu Abhängigkeiten zwischen den Schichten führen, was die Komplexität erhöht und somit eine Monolithic Architecture entsteht. Die oben genannten Vorteile sind folglich nicht mehr gegeben und treten somit die Nachteile einer klassischen Monolithic Architecture auf. [Thomas and Webb 2024, 5]

4 MODERNE ENTERPRISE-ARCHITEKTUREN

4.1 Event-Driven Architecture

Die Event-Driven Architecture wählt als Basis einen anderen Ausgangspunkt als die bisherigen Architekturmuster. Während bei letzteren Komponenten Dienste bereitstellen, welche von anderen Komponenten explizit genutzt werden, verhalten sich Dienstbereitstellende Komponenten in der Event-Driven Architecture reaktiv, werden also implizit von Dienst-konsumierenden Komponenten genutzt [Garlan and Shaw 1994]. Ein System reagiert somit asynchron auf Zustandsänderungen, also Ereignisse in diesem System [Manchana 2021]. Die in dieser Architektur minimalen Einheiten, welche Informationen einer Zustandsänderung kapseln, werden *Events* genannt. Die Idee der impliziten Behandlung von Ereignissen ist nicht neu und taucht erstmals 1994 im von Garlan und Shaw publizierten Papier „*An introduction to Software Architecture*“ auf.

Betrachten wir im Folgenden die Basis-Bestandteile der Event-Driven Architecture:

- Ereignis (englisch *Event*): Kapselt Information einer Zustandsänderung eines Systems
- Produzent (englisch *Producer*): Komponente, die Event erzeugt
- Herausgeber (englisch *Publisher*): Komponente, die, von Produzenten erzeugte, Events publiziert
- Konsument (englisch *Consumer*): Reagiert auf pubizierte Events
- Vermittler (englisch *Mediator*): Liegt zwischen Produzenten und Konsumenten - filtert Events und verteilt diese auf Konsumenten
- Event-Bus: Oft auch *Event-Broker* genannt - bietet die Infrastruktur für die Gesamtheit der Vermittler

Abstrakt kann ein Event als ein Vertrag zwischen Produzenten und Konsumenten am Event-Bus betrachtet werden. Der Konsument nutzt die Spezifikation des Events am Bus, der Produzent implementiert jene Spezifikation. Abbildung 5 stellt diesen Vertrag dar.

Durch den Vertrag weisen die Events am Event-Bus starke Kohäsion und somit lose Kopplung auf. Diese lose Kopplung minimiert nicht nur kaskadierende Fehler, sondern ermöglicht agilen Entwickler-Teams durch klar abgegrenzte Features einfach definierbare Iterationen - eine Menge von Events, deren Erzeugung und Konsumierung.

Weiter sind Events oft nah an dem, was Ereignisse in realen Prozessen sind, also domain-driven. Gebündelt ermöglichen obige Punkte die kontinuierliche Auslieferung von Software in kurzen Intervallen.

Außerdem garantiert die asynchrone Behandlung von Ereignissen zusammen mit der locken Kopplung maximale Skalierung. Daher sind Event-Driven Architekturen besonders für datenintensive

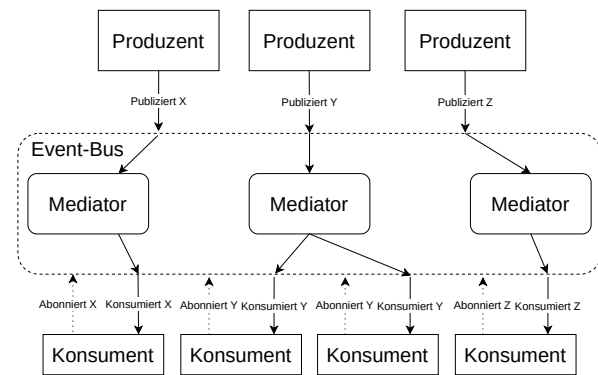


Abb. 5. Vertrag zwischen Produzenten und Konsumenten am Event-Bus

Echtzeit-Anwendungen wie IoT (Internet of Things) und Analytics geeignet [Siddiqui et al. 2023].

Die Agilität der Architektur kann weiter erhöht werden, indem der event-basierte Aspekt mit weiteren agilen Strukturen wie Microservices oder cloud-nativen Serverless-Functions kombiniert wird. Die damit einhergehende Komplexität stellt teilweise hohe Anforderungen an die Entwickler. Aufgrund der Asynchronität der Behandlung von Ereignissen ist die Testung des Systems meist schwer und die Fehlerbehandlung essentiell. Mögliche Problemquellen schließen dabei unter anderem Event-Verlust, erhöhte Latenz und Inkonsistenz ein. Die hohen Anforderungen an die Entwickler verlangen viel Vertrauen in jene, einer der zentralen Punkte des agilen Manifests [Michl 2018]. Insgesamt weist die Event-Driven Architecture also eine sehr hohe Agilität auf und ist damit besonders für moderne Software und ihre stetig wechselnden Anforderungen geeignet.

5 FALLSTUDIEN UND PRAXISBEISPIELE

Blah ...

6 DISKUSSION

7 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

LITERATUR

- Kalpesh Barde. 2023. Modular Monoliths: Revolutionizing Software Architecture for Efficient Payment Systems in Fintech. (2023). <https://doi.org/10.1145/3643657.3643911>
- Rui Chen, Shanshan Li, and Zheng Li. 2017. From Monolith to Microservices: A Dataflow-Driven Approach. In *2017 24th Asia-Pacific Software Engineering Conference (APSEC)*. 466–475. <https://doi.org/10.1109/APSEC.2017.53>
- David Garlan and Mary Shaw. 1994. *An Introduction to Software Architecture*. Technical Report CMU/SEI-94-TR-021. <https://insights.sei.cmu.edu/library/an-introduction-to-software-architecture/> Accessed: 2025-Jan-2.
- Ramakrishna Manchana. 2021. Event-Driven Architecture: Building Responsive and Scalable Systems for Modern Industries. *International Journal of Science and Research (IJSR)* 10 (01 2021), 1706–1716. <https://doi.org/10.21275/SR24820051042>
- Thomas Michl. 2018. *Das agile Manifest – eine Einführung*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 3–13. https://doi.org/10.1007/978-3-662-57699-1_1
- Mark Richards. 2015. *Software architecture patterns*. Vol. 4. O'Reilly Media, Incorporated 1005 Gravenstein Highway North, Sebastopol, CA
- Nada Salaheddin and Nuredin Ahmed. 2022. MICROSERVICES VS. MONOLITHIC ARCHITECTURE [THE DIFFERENTIAL STRUCTURE BETWEEN TWO ARCHITECTURES]. *MINAR International Journal of Applied Sciences and Technology* 4 (10 2022), 484–490. <https://doi.org/10.47832/2717-8234.12.47>

- Hassaan Siddiqui, Ferhat Khendek, and Maria Toeroe. 2023. Microservices based architectures for IoT systems - State-of-the-art review. *Internet of Things* 23 (2023), 100854. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2023.100854>
- Ruoyu Su and Xiaozhou Li. 2024. Modular Monolith: Is This the Trend in Software Architecture?. In *Proceedings of the 1st International Workshop on New Trends in Software Architecture* (Lisbon, Portugal) (SATrends '24). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 10–13. <https://doi.org/10.1145/3643657.3643911>
- Richard Thomas and Brae Webb. 2024. Layered architecture. (2 2024). <https://csse6400.uqcloud.net/handouts/layered.pdf>
- Zhenan Tu. 2023. Research on the Application of Layered Architecture in Computer Software Development. *Journal of Computing and Electronic Information Management* 11 (11 2023), 34–38. <https://doi.org/ojs/index.php/jceim/article/view/14398>

A ANHANG 1

A.1 Übungsaufgaben

Blah ...

B ANHANG 2

Blah ...